

21 ガラスビーズを用いた崩壊実験と個別粒状法によるシミュレーションの比較

森林総合研究所 ○大倉 陽一
北原 曜
三森 利昭

1. 目的

近年、数値モデルを用いた崩壊危険区域の判定方法が数多く提唱され、GISによるハザードマップの作成も盛んに行われてきている。このハザードマップが実際の都市計画、保全対象の策定、治山施設計画等に有効活用されるためには、崩壊土砂の到達距離に関する情報が必要と考えられる。崩壊発生後の土砂の挙動を解析する手法の一つとして個別要素法¹⁾の適用が考えられる。これまで筆者らは2次元個別要素法により室内崩壊実験の崩土の運動を解析し、崩壊の発生から停止に至る過程を良く再現することができた²⁾。しかし、個別要素法では移動土塊を多数の粒子の集合体として表現するため、実際斜面に適用する際には粒子数の増大にともない計算時間が大幅に増大する欠点がある。そこで、個別要素法よりも粒子間の応力計算に要する時間が短くなるであろうと考えられる個別粒状法³⁾を用いて、ガラスビーズを用いた崩壊実験のシミュレーションを行いその再現性を検討する。

2. 方法

2.1 実験方法

実験斜面の諸元を図-1に示す。斜面はアクリル板で制作し、床面には粗度をつけるため $\phi 2\text{mm}$ のガラスビーズを全面に張り付けた。また崩壊粒子として、 $\phi 12\text{mm}$ のガラスビーズの表面に $\phi 2\text{mm}$ のガラスビーズを全面に張り付けたものを用いた。実験条件は斜面長を2mとし、傾斜を $A=15^\circ$ ならびに $A=25^\circ$ に設定した。そして各傾斜について粒子数 $N=300$ 個ならびに $N=600$ 個を用いて実験をおこなった。粒子の初期配列については、斜面上端部の水平距離0.2m部分にランダムに積み上げ、積み上げた上端面が水平となるようにした。実験の開始に当たっては、積み上げた粒子を支えていた側壁を斜め上方に引き上げ粒子との間に摩擦力が働かないようにした。また、いくつかの粒子を着色しマーカーとした。観測については崩壊直後の粒子の動きを観察するため、高速ビデオカメラにより実験斜面の側面から粒子を撮影した。さらに堆積域においては個別の粒子の停止座標を計測した。

2.2 シミュレーション方法

図-2に粒子間応力の伝達モデルを示す。個別要素法においては粒子間に弾性スプリングと粘性ダッシュポットを設定していたため、応力計算に2ステップを要した。個別粒状法においては跳ね返り係数による1ステップの計算で済むので、個別要素法に比べ計算時間の短縮が期待される。表-1にシミュレーションで用いた物理定数並びに計算定数を示す。物理定数の測定については、粒子を用いて簡単な跳ね返り実験と転がり摩擦に関する実験を行い決定した。

3. 結果ならびに考察

図-3に $A=25^\circ$ 、 $N=600$ 個におけるシミュレーション結果ならびに実験結果を示す。図の斜面は上から順にシミュレーションでの初期状態、1.0s後、2.0s後、2.6s後(停止状態)、そして最下段が実験による停止状態である。シミュレーションと比較して実験結果の堆積先頭部において粒子が分散しているのは、斜面底部並びに粒子表面の粗度が均一でないため粒子が跳動してしまった影響と考えられる。またどの実験例においても崩壊初期には、初期配列前端面では下層の粒子ほど崩壊粒子群の先頭部に集中し、初期配列中央部付近では上層の粒子ほど先頭に出る傾向がみられた。さらに堆積域においては初期配列の水平位置関係が保持されており、シミュレーション結果においてもそれらの現象は再現された。

次に、実験斜面傾斜変換点からの粒子の堆積距離の平均値、メジアンを求めたところ、実験ならびにシミュレーションのどちらにおいても粒子数が多いほど、また傾斜が小さいほど平均値、メジアンともに小さくなる傾向がみられた。これは粒子数が多く傾斜が小さくなるにつれ粒子同士の衝突機会が増し、非弾性衝突やインターロッキングによる摩擦力により、運動エネルギーが消費されるためと考えられた。

以上の結果、シミュレーション結果は実験結果をよく再現することが確認され、また、計算時間も短縮されることが確認できた。これは本研究の有効性を示すものと考えられる。

<参考文献>

- 1) Cundall, P. A. and Strack, O. D. L. (1979): A discrete numerical model for granular assemblies. *Geotechnique* 29, No. 1, pp. 47-65
- 2) 大倉陽一・三森利昭・落合博貴 (1994): 個別要素法による崩壊土砂動態解析, 新砂防 Vol. 47 No. 3, pp. 3-10
- 3) M. C. Roco: *Particulate Two-Phase Flow*, Butterworth-Heinemann, pp. 884-911, 1993

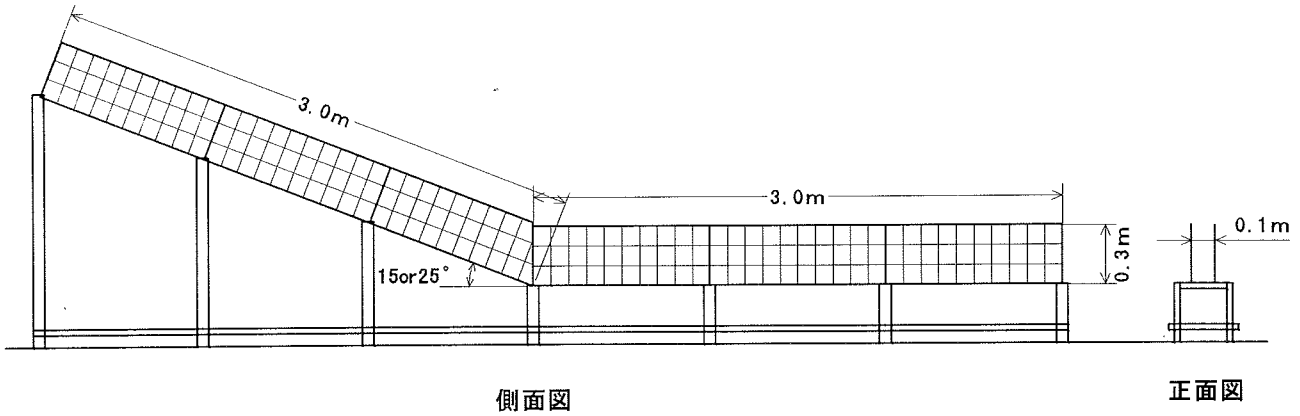


図-1 実験斜面の諸元

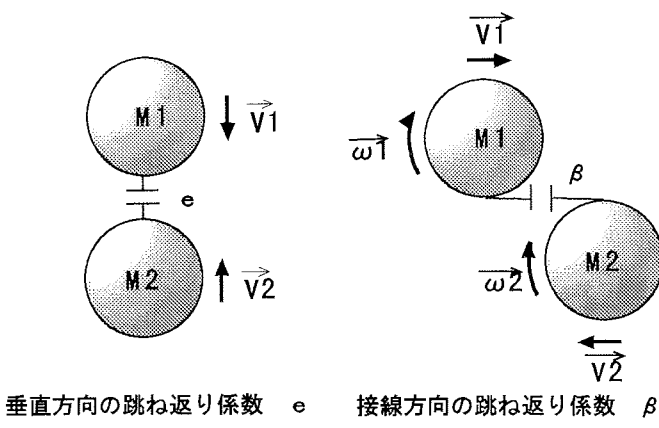


図-2 個別粒状法における粒子間の応力伝達モデル

表-1 粒子の物理定数ならびに計算定数

粒子半径	$R = 0.00824\text{m}$
粒子密度	$\rho = 1945\text{kg/m}^3$
跳ね返り係数	粒子-粒子 $e = 0.231$
	粒子-底面 $e_f = 0.258$
	粒子-側面 $e_w = 0.295$
動摩擦係数	粒子-粒子 $\mu = 12^\circ$
	粒子-底面 $\mu_f = 11^\circ$
	粒子-側面 $\mu_w = 10^\circ$
転がり抵抗	粒子-粒子 $s = 12^\circ$
	粒子-底面 $s_f = 11^\circ$
	粒子-側面 $s_w = 5^\circ$
計算時間間隔	$\Delta t = 0.0001\text{s}$

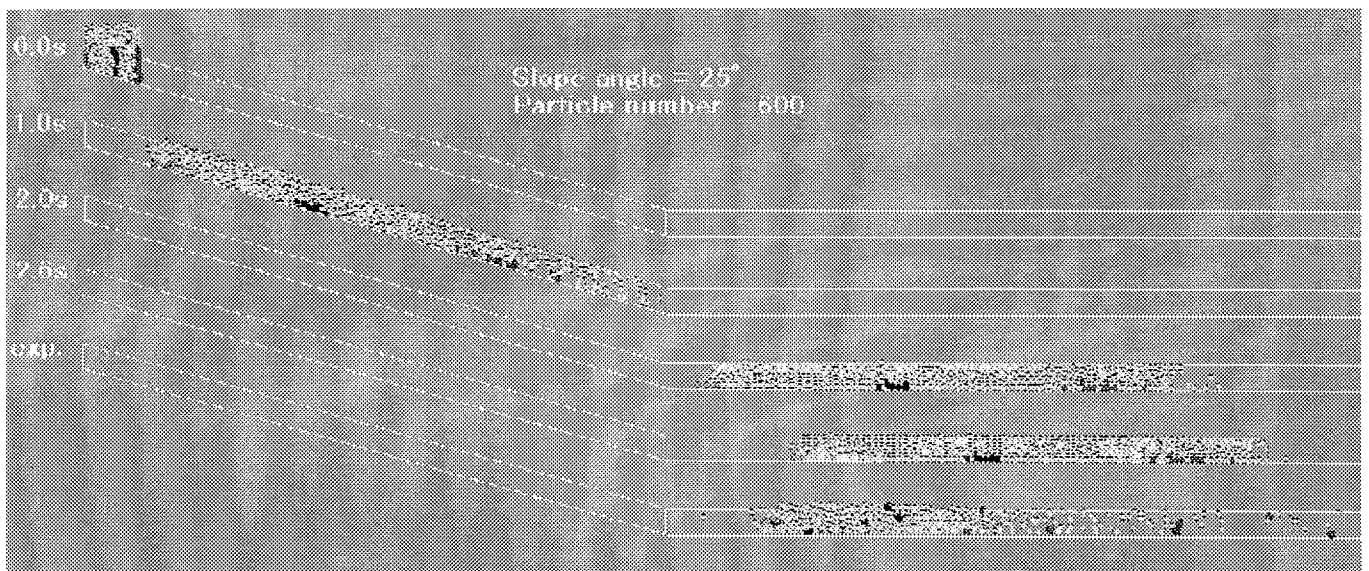


図-3 斜面傾斜25°，粒子数600個における実験結果（上4段）ならびにシミュレーション結果（最下段）